

بررسی ارتعاشات موتور تراکتور MF285 بر اثر ترکیبات مختلف سوخت بیودیزل به کمک روش‌های آماری و ANFIS

علی سفرنگیان^۱ - لیلا ندرلو^{۲*} - حسین جوادی کیا^۳ - مصطفی مصطفایی^۴ - سید سعید محتسبی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۰۴

چکیده

ارتعاشات ایجاد شده در تراکتور می‌تواند باعث عدم آسایش و راحتی و موجب کاهش کار مؤثر شود و بر سلامتی و ایمنی افراد تأثیر بگذارد. تاکنون تحقیقات گسترده‌ای جهت بررسی دلایل بروز ارتعاش موتور و روش‌های کاهش آن انجام شده است. یکی از پارامترهای مهمی که در موتورهای دیزلی توانایی ایجاد ارتعاش و کوبش را دارد، نوع سوخت است. در این تحقیق، ارتعاش موتور تراکتور MF285، در سه جهت و سه دور موتور ۱۰۰۰، ۱۶۰۰ و ۲۰۰۰ دور بر دقیقه و ده سطح سوخت حاصل از ترکیبات مختلف سوخت‌های بیودیزل، بیواتانول و دیزل اندازه‌گیری شد. برای تحلیل اثر پارامترهای مورد نظر بر روی ارتعاش موتور از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و نیز مدل ANFIS استفاده شد. نتایج تحلیل‌ها نشان داد که ارتعاش حاصل از سوخت B₅E₄D₉۱، بیشترین ارتعاش را داشت که مقدار شتاب RMS کل آن برابر با ۴/۲۶۰۲ g بود. همچنین با افزایش بیودیزل در ترکیب سوخت‌ها میزان ارتعاش به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌طوری‌که سوخت B₂₅E₄D₇۱ با شتاب RMS کل ۳/۱۵۸۲ g، کمترین ارتعاش را داشت. افزایش دور موتور اثر مستقیم بر روی افزایش میزان ارتعاش داشت. همچنین در ترکیبات سوختی که ۲۵ درصد بیودیزل داشتند، با افزایش مقدار بیواتانول، مقدار ارتعاش از ۲ تا ۴ درصد کاهش یافت. سپس با ادامه افزایش از ۴ تا ۶ درصد بیواتانول، مقدار ارتعاش افزایش یافت. این روند در ترکیبات سوختی با درصد بیودیزل ۵٪، معکوس بود. هرچند در ترکیبات سوختی با درصد بیودیزل ۱۵٪، روند کاهشی داشت.

واژه‌های کلیدی: ارتعاش، ارتعاش‌سنج، بیواتانول، دیزل، سوخت زیستی

مقدمه

قرار می‌گیرد. یکی از این جنبه‌ها مربوط به ارتعاشات انواع مختلف موتورهای می‌باشد. ارتعاشات ایجاد شده ممکن است نشان از خرابی یا شکست قطعات باشند و از همین روست که یکی از راه‌های بررسی عیوب و خرابی دستگاه‌ها آنالیز ارتعاشات می‌باشد. ارتعاشات ایجاد شده همچنین می‌توانند باعث عدم آسایش و راحتی و موجب کاهش کار مؤثر شوند و بر سلامتی و ایمنی افراد تأثیر بگذارند (Rao, 1995; Tewari *et al.*, 2004). عامل تولید ارتعاش، احتراق و ساختار خود موتور می‌باشد. از طرفی احتراق به نوع سوخت و چگونگی طراحی محافظه احتراق بستگی دارد (Sam and Kathirvel, 2006). دو سوخت زیستی بیودیزل^۷ و بیواتانول^۸ به دلیل ویژگی‌های مشابه با سوخت‌های دیزلی و بنزینی به‌صورت خالص یا ترکیبی قابلیت استفاده در موتورهای دیزلی را دارند (Ferella *et al.*, 2010).

یکی از شروط اولیه استفاده از این سوخت‌های زیستی، بررسی رفتار ارتعاشی این موتورها در اثر تغییر سوخت است که موضوع اصلی این تحقیق می‌باشد. تاکنون تحقیقات گسترده‌ای جهت بررسی دلایل بروز ارتعاش موتور و روش‌های کاهش آن انجام شده است (Sam

از زمانی که انسان ماشین را برای استفاده در صنعت و کشاورزی به‌کار گرفت و به‌ویژه از هنگامی که موتورهای به‌عنوان منابع قدرت استفاده شدند، با ورود تراکتورها به مزرعه مشکلات عدیده‌ای در ارتباط با ایمنی و سلامت شغلی کاربران به‌وجود آمد، آسایش، ایمنی و سلامت کاربران یکی از مواردی است که باید در طراحی، ساخت و استفاده از ماشین‌ها در نظر گرفته شود (Gruber and Zipper, 1994; Milby and Spear, 1994). مشکلات کاهش ارتعاش آن‌ها نظر مهندسان را به‌خود جلب کرده است. ارتعاشات، سطح وسیعی از علوم مهندسی را شامل می‌شود و از جنبه‌های مختلفی مورد بررسی

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه رازی

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه رازی

*- نویسنده مسئول: (Email: l.naderloo@razi.ac.ir)

۳- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه رازی

۴- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه رازی

۵- استاد گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه تهران

مخلوط‌های مختلف سوخت بیودیزل و دیزل روی موتور اشتعال تراکمی شش سیلندر پرکینز^۲، قبل و بعد از تعمیر موتور بررسی شد. نتایج نشان داد که مخلوط سوخت به‌طور معنی‌داری بر مقدار ارتعاش تأثیرگذار است، به‌گونه‌ای که مخلوط‌های بیودیزل ۲۰ درصد و بیودیزل ۴۰ درصد، کم‌ترین مقدار ارتعاش و مخلوط‌های بیودیزل ۱۵ درصد و بیودیزل ۳۰ درصد بیش‌ترین مقدار ارتعاش را داشتند. همچنین نتایج آزمایش‌ها نشان داد که ارتعاش به مقدار چشم‌گیری بعد از تعمیر موتور کاهش یافت (Taghizadeh-Alisarai *et al.*, 2012). در تحقیقی دیگر بررسی نتایج نشان داد که با افزایش سرعت دورانی موتور، میانگین شتاب ارتعاش به‌طور کلی در همه دنده‌ها و موقعیت‌ها افزایش یافت. مقادیر شتاب ارتعاش وابسته به جهت مختصات بوده و به‌طور کلی شتاب ارتعاش در جهت عمودی بیشتر از جانبی و جانی بیشتر از طولی بوده است (Ahmadian, 2011). سرعت موتور مؤثرترین عامل بر توان موتور می‌باشد. همچنین مقدار سوخت بیودیزل و سرعت موتور مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر بر مقدار مصرف ویژه سوخت است (Shabani *et al.*, 2012). از آنجا که نوع سوخت مصرفی در تراکتور بر میزان ارتعاش موتور تأثیر می‌گذارد (Sam and Kathirvel, 2006) و ارتعاش تراکتور بر بدن راننده در استفاده طولانی مدت اثرات سوء دارد (Min-Soo *et al.*, 2013; Selim, 2001; Rao, 1995; Tewari *et al.*, 2004; Andrew *et al.*, 2007) لذا ضروری است، میزان ارتعاش تراکتور در استفاده از سوخت ترکیبی جدید اندازه‌گیری شود. هرچند که تحقیقات مختلفی در زمینه ارتعاش موتور انجام شده است، ولی تحقیقات انجام شده بیشتر به بررسی اثر استفاده از سوخت بیودیزل خالص یا در ترکیب با دیزل بر روی ارتعاش موتور پرداخته‌اند که به چند مورد اشاره شد و برخی دیگر نیز به بررسی اثر استفاده از بیواتانول به‌عنوان سوخت بر روی ارتعاشات موتور متمرکز شده‌اند (Hashemifard-Dehkordi *et al.*, 2014). به‌نظر می‌رسد تاکنون محققانی اثر استفاده از سوخت ترکیبی از بیودیزل، بیواتانول و دیزل را روی ارتعاش موتور بررسی نکرده است. لذا در این تحقیق اثرات استفاده از ترکیبات مختلف سوخت‌های بیودیزل، بیواتانول و دیزل، بر ارتعاش موتور بررسی شد. نتیجتاً ترکیبی از سوخت‌های مذکور که کمترین ارتعاش موتور را ایجاد می‌کند به‌عنوان سوخت ترکیبی بهینه شناسایی و معرفی شد.

مواد و روش‌ها

الف) تهیه ترکیبات مختلف سوخت

ابتدا سوخت بیودیزل با پایه گیاهی کلزا در کارگاه تولید بیودیزل تولید شد. شکل ۱ تصویر رآکتور حفره‌زای هیدرودینامیکی را نشان می‌دهد که جهت تولید بیودیزل استفاده شد.

and Kathirvel, 2006; Heidari *et al.*, 2012; Min-Soo *et al.*, 2013). این در حالی است که همچنان موضوع‌های بررسی نشده‌ی فراوانی، از جمله تأثیر نوع سوخت بر ارتعاشات وجود دارد. پارامتر مهمی که در موتورهای دیزلی توانایی ایجاد ارتعاش و کوبش را دارد، نوع سوخت است. این ارتعاش و کوبش می‌تواند باعث استهلاک و فرسایش قطعات متحرک و حتی ثابت موتور شده و از طرفی باعث افزایش هزینه تعمیر و نگهداری و نیز افزایش مصرف سوخت گردد و از طرف دیگر باعث ایجاد ناراحتی و ناامنی در کاربران شود (Sam and Kathirvel, 2006; Salokhe *et al.*, 1995). بررسی صدا و ارتعاش حاصل از فرآیند احتراق در موتورهای احتراق داخلی همواره مورد توجه محققان بوده است. ارتعاش به‌طور مستقیم اثر مخرب بر روی قطعات موتور و کاربر دارد (Min-Soo *et al.*, 2013). موتورهای دیزل صدا و ارتعاش بیشتری نسبت به موتورهای اشتعال جرقه‌ای تولید می‌کنند که اثر مخرب بر گوش و بدن کاربران می‌گذارد، به‌ویژه در موتورهایی که دارای نسبت تراکم بالا و فشار احتراق زیاد هستند (Selim, 2001; Andrew *et al.*, 2007). محققان نشان دادند که با افزایش دور موتور برای تمامی مخلوط‌های سوخت بیواتانول و دیزل مقدار شتاب افزایش می‌یابد (Hashemifard-Dehkordi *et al.*, 2014). نتایج آزمایش محققان نشان می‌دهد که شتاب ارتعاش، وابسته به جهت مختصات، سرعت موتور و تغییر نوع سوخت می‌باشد. به‌طوری‌که میزان ارتعاش در راستای عمودی بیشترین مقدار را دارد و با افزایش سرعت به‌دلیل افزایش تعداد کورس و ضربه در واحد زمان بیشتر می‌شود و نیز میزان ارتعاش با استفاده از بیودیزل خالص نسبت به دیزل خالص کاهش می‌یابد (Heidari *et al.*, 2012). کاهش سرعت دورانی موتور باعث کاهش ارتعاش پیچشی میل لنگ و کاهش شتاب ارتعاش می‌شود (Heidari *et al.*, 2012). در جلوی موتور تراکتور دو چرخ مدل کوبوتا^۱ آمریکا با ۱۳ اسب بخار توان، با افزایش دور موتور، در همه دورهای موتور از ۱۰۰۰ تا ۲۲۰۰ دور بر دقیقه برای تمامی مخلوط‌های سوخت در سه راستای عمودی، افقی و جانبی، شتاب به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. افزایش سرعت موتور از ۱۴۰۰ تا ۲۲۰۰ دور بر دقیقه مقدار شتاب ارتعاشی موتور تراکتور را افزایش می‌دهد که علت آن افزایش تعداد کورس‌های احتراق و ضربات پیستون در واحد زمان است (Hasan-Beigi *et al.*, 2012).

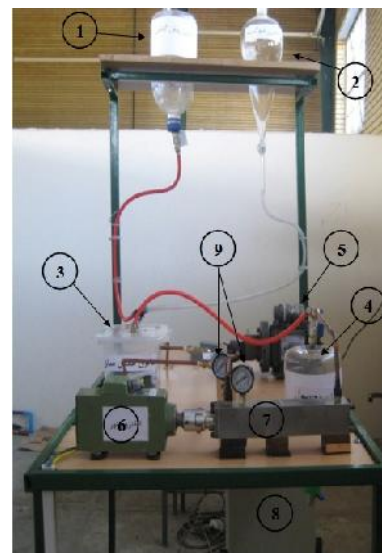
تأثیر مخلوط‌های سوخت بنزین و اتانول بر روی ارتعاش بلوک سیلندر و سر و صدای موتور اشتعال جرقه‌ای توسط محققان بررسی شد. نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش اتانول در مخلوط، ارتعاش و سر و صدای موتور به‌خصوص در محدوده دور موتور ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ دور بر دقیقه افزایش یافت (Keskin, 2010). ارتعاشات ناشی از

برای انجام آزمایش‌ها از تراکتور MF285 تک دیفرانسیل تولید شده در سال ۱۳۹۱ از کارخانه تراکتورسازی ایران استفاده شد. برای اندازه‌گیری شتاب RMS ارتعاش موتور از ارتعاش‌سنج مدل VM120 ساخت شرکت MONITRAN انگلیس استفاده شد. این ارتعاش‌سنج بسیار دقیق بوده و قادر به اندازه‌گیری شتاب ارتعاشی در محدوده $\pm 200 \text{ g}$ با حساسیت بالای 10 mV g^{-1} توانایی اندازه‌گیری بسامدهای بین ۱ تا ۱۰۰۰۰ هرتز را دارد. در این تحقیق شتاب‌سنج در بسامد ۵۰۰۰ هرتز تنظیم شد. شتاب‌سنج مطابق شکل ۲، روی بدنه موتور تراکتور به‌واسطه اتصال یک قطعه فلزی مکعبی به کمک نیروی مغناطیسی نصب شد. قطعه فلزی مکعبی در سمت راست موتور تراکتور از موقعیت راننده و پایین فیلترهای سوخت‌رسانی اولیه و ثانویه به‌طور محکم نصب گردید. مخزن موقتی سوخت به‌دلیل لوله‌های سوخت‌رسانی بایستی در سمت راست تراکتور نصب می‌شد (شکل ۲- چپ) و برای این‌که بتوان همزمان هم مقدار سوخت در مخزن را کنترل کرد و هم موقعیت ارتعاش‌سنج را تعویض نمود، ارتعاش‌سنج در همین سمت نصب گردید. اگرچه در سمت مقابل فضای مناسبی برای نصب آن نیز وجود نداشت. ارتعاش موتور در سه محور در راستای X، Y و Z اندازه‌گیری گردید و دور موتور در سه سطح (۲۰۰۰، ۱۶۰۰، ۱۰۰۰ دور بر دقیقه) در نظر گرفته شد. تصویر ارتعاش‌سنج، جهت‌های اتصال و نحوه‌ی اتصال آن به بدنه موتور تراکتور و همچنین محل نصب مخزن در شکل ۲ نشان داده شده است.

آزمایش‌ها بر روی تراکتور و در سطح جاده به‌طور ثابت و مہار شده در حالت ایستگاهی انجام شد. تراکتور قبل از انجام آزمایش‌ها بازرسی شد. آزمایش‌ها در حالت ایستگاهی و بدون بار و با سه تکرار انجام گرفت.

تعداد آزمایش‌ها با توجه به عوامل مورد بررسی در سه جهت، ۲۷۰ آزمایش بود. برای آزمایش سوخت‌های معین، لوله‌های مدار سوخت‌رسانی از محل خروجی و ورودی فیلتر ثانویه سوخت قطع گردید و با ایجاد یک مدار فرعی سوخت‌های مورد آزمایش از مخزن فرعی که سمت راست کاپوت تراکتور از دید راننده قرار داشت وارد پمپ انژکتور دوار (آسیابی) تراکتور می‌شد. به‌دلیل قطع ارتباط پمپ مقدماتی (پمپ سه گوش) با عمل سوخت‌رسانی که وظیفه ارسال سوخت به پمپ انژکتور را به‌عهده دارد، عمل سوخت‌رسانی در مدار کند و یا قطع و یا نیاز به هواگیری داشت. لذا برای رفع این مشکل مخزن سوخت باید در نقطه بالاتری نسبت به پمپ انژکتور قرار می‌گرفت تا سوخت به لحاظ ثقلی در مدار سوخت‌رسانی قرار گیرد. لذا با این اطلاعات عملیات سوخت‌رسانی به‌طور دقیق و بدون وجود هوا در مسیر مدار سوخت‌رسانی صورت گرفت. یک لوله برگشت سوخت از

در این تحقیق از روغن مایع کلزا و الکل متانول با درجه خلوص ۹۹/۹۹ درصد و نسبت مولی ۶ به ۱ و کاتالیزور هیدروکسید سدیم به اندازه ۱٪ وزنی روغن استفاده شد. تنظیمات راکتور عبارت بودند از: حفظ دما در اندازه ۵۰ درجه سانتی‌گراد، مدت زمان واکنش ۵ دقیقه و سرعت دورانی ۸۰۰۰ دور بر دقیقه و دبی پمپ ۰/۸۳ لیتر بر دقیقه. بیودیزل تولید شده بعد از سپری کردن مراحل مختلف جهت تصفیه و خالص‌سازی شامل جداسازی گلیسرین، متانول و آب‌شویی حدود ۹۸ درصد متیل استر بود. بیواتانول مورد نیاز نیز با ۹۹/۷ درصد (حجمی) خریداری شد. سپس ترکیبات مختلف سوخت بیودیزل و بیواتانول آماده گردید. به‌عبارت دیگر در این تحقیق از ۱۰ سطح سوخت استفاده شد. ترکیبات این سوخت‌ها عبارت بودند از: بیودیزل (B_i)، بیواتانول (E_j) و دیزل (D_k). به‌طوری‌که اندیس هر کدام بیانگر درصد حجمی آن در ترکیب سوختی می‌باشد. این مخلوط‌های سوختی عبارتند از: $B_5E_2D_{93}$, $B_5E_4D_{91}$, $B_5E_6D_{89}$, $B_{15}E_2D_{83}$, $B_{15}E_4D_{81}$, $B_{15}E_6D_{79}$, $B_{25}E_2D_{73}$, $B_{25}E_4D_{71}$, $B_{25}E_6D_{69}$, $B_0E_0D_{100}$.



شکل ۱- راکتور حفره‌زای هیدرودینامیکی استفاده شده جهت تولید بیودیزل از روغن کلزا (۱- مخزن روغن، ۲- مخزن متوکسید، ۳- مخزن همگن‌ساز، ۴- مخزن بیودیزل تولیدی، ۵- پمپ با جابه‌جایی مثبت، ۶- الکتروموتور، ۷- راکتور حفره‌زای هیدرودینامیکی، ۸- مبدل دور راکتور و ۹- فشارسنج)

Fig.1. Used hydrodynamic cavitation reactor to produce biodiesel from canola oil (1-Oil tank, 2- Metoxide tank, 3- Homogenizer tank, 4- Product tank, 5- Positive displacement pump, 6- Electro motor, 7- Hydrodinamic cavitation reactor, 8- Inverter and 9- Pressure indicator)

(ب) روش اجرای آزمایش

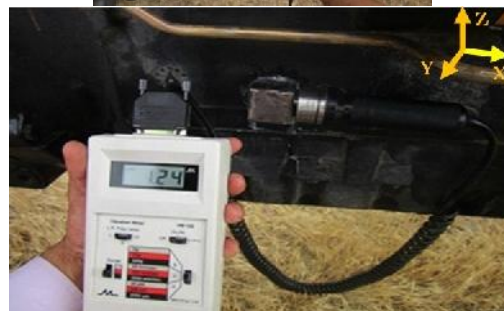
د) مدل‌سازی به کمک ANFIS^۱

سیستم استنتاج فازی ANFIS ترکیبی از سیستم فازی و شبکه عصبی مصنوعی است، به طوری که مزایای هر دو را دربر دارد (Buragohain and Mahanta, 2008; Metin and Murat, 2008). این سیستم برای حل مسائل غیرخطی در کاربردهای مهندسی کشاورزی مانند سیستم‌های درگیر با خاک، گیاه و هوا که بسیار پیچیده هستند مفید می‌باشد (Arkhipov *et al.*, 2008; Cheng *et al.*, 2002; Buragohain and Mahanta, 2008). ANFIS قادر است به کمک مفاهیم زبانی ارتباط غیرخطی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را برقرار و استنتاج نماید (Naderloo *et al.*, 2012; Serge, 2001). تحلیل داده‌ها به کمک ANFIS برای تأمین دو هدف انجام شد. هدف اول جهت شبیه‌سازی تغییرات پارامترهای مختلف بر ارتعاشات موتور و هدف دوم به دست آوردن مدلی برای پیش‌بینی. به طور کلی مدل‌سازی هم در محیط جعبه ابزار ANFIS و هم به کمک کدنویسی برای انجام تعدادی از محاسبات و رسم نمودارها در نرم‌افزار MATLAB R2013a انجام شد و پنج عامل مهم و مؤثر در مدل‌سازی، بهینه شد تا بهترین مدل ANFIS ممکن حاصل گردد. این پنج عامل عبارتند از: نوع مجموعه‌های فازی ورودی، تعداد مجموعه‌های فازی ورودی، نوع مجموعه‌های فازی خروجی، نوع شیوه بهینه‌سازی و تعداد اپوک‌ها^۲. نوع مجموعه‌های فازی ورودی در انواع مختلف مثلثی، دوزنقه‌ای، گوسی، سیگموئیدی، تفاضل و حاصل ضرب دو تابع سیگموئیدی، گوسین ترکیبی، زنگوله‌ای تعمیم‌یافته و P شکل بود. نوع مجموعه‌های فازی خروجی به دو نوع کلی ثابت و خطی است و دو نوع شیوه بهینه‌سازی ترکیبی و پس انتشار وجود دارد. در مدل‌های فازی مجموعه داده‌ها نباید تکرار داشته باشند. بنابراین، از میانگین تکرارها استفاده شد. به عبارتی، تعداد کل داده‌ها در مدل فازی-عصبی و رگرسیون خطی ۹۰ مجموعه داده می‌باشد که ۲۷ مجموعه داده (۳۰ درصد داده‌ها) جهت آزمون و ۶۳ مجموعه داده (حدود ۷۰ درصد داده‌ها) جهت آموزش استفاده شد (Saadatifard *et al.*, 2012).

نتایج و بحث**الف) نتایج آماری داده‌ها**

نمودار شتاب RMS ارتعاشی حاصل برای سوخت B₂₅E₄D₇₁ در دور ۱۰۰۰ rpm و در سه جهت به عنوان نمونه در شکل ۳ نشان داده شده است. مقادیر ارتعاش کل یا ارتعاش برآیند در سه جهت اندازه‌گیری برای سوخت‌های مختلف تحت دوره‌های متفاوت در شکل ۴ نشان داده شده است که چنانچه مشاهده می‌شود، با افزایش دور

انژکتورها به سمت بالای مخزن فرعی نیز نصب شد تا سوخت‌های برگشتی را به مخزن انتقال دهد. برای شروع آزمایش بعدی مدت زمان کافی (۲ تا ۵ دقیقه) متناسب با سوخت باقی مانده در مخزن فرعی به تراکتور داده می‌شد تا سوخت قبلی مصرف گردد. با این کار صرفاً داده‌های مربوط به هر سوخت داده‌برداری شده و از تداخل تیمارهای متوالی جلوگیری شد. تحلیل داده‌ها به دو روش تحلیل آماری و تحلیل به کمک ANFIS انجام شد.



شکل ۲- ارتعاش سنج و جهت‌های اتصال آن به بدنه موتور تراکتور (پایین) و محل نصب مخزن (بالا)

Fig.2. Vibration meter and directions of its connection to the body of tractor engine and location of the tank (left)

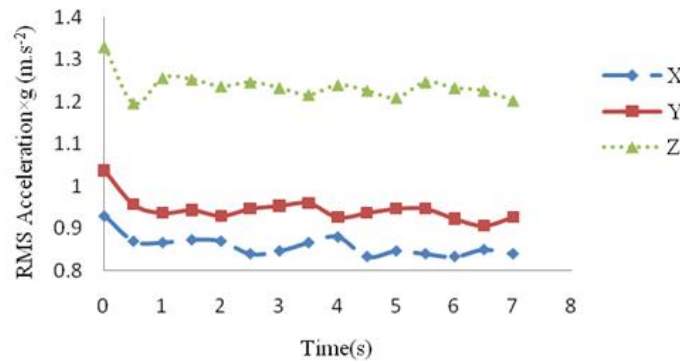
ج) تحلیل آماری داده‌ها

برای تجزیه واریانس، آزمایش به صورت آزمایش فاکتوریل ۳×۱۰ در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در هر سه جهت X، Y و Z به طور جداگانه انجام شد. داده‌ها در نرم‌افزار SPSS19 وارد گردید و تجزیه و تحلیل شد. ۱۰ سطح سوخت شامل سوخت‌های ترکیبی از (۵، ۱۵ و ۲۵ درصد) بیودیزل و (۲، ۴ و ۶ درصد) بیواتانول و مابقی سوخت دیزل بود و دور موتور نیز در سه سطح بود که قبلاً به آن‌ها اشاره شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

1- Adaptive Neuro Fuzzy Inference System

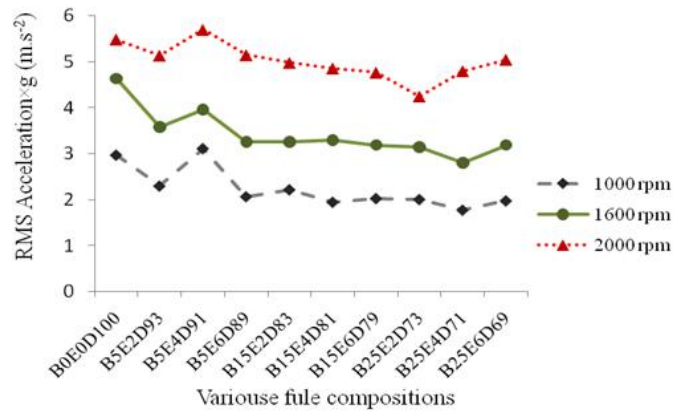
2- Epochs

موتور در تمام ترکیبات سوختی ارتعاش برآیند افزایش یافته است.



شکل ۳- شتاب RMS ارتعاشی حاصل برای سوخت B₂₅E₄D₇₁ در دور ۱۰۰۰ rpm

Fig.3. RMS acceleration of vibration for B₂₅E₄D₇₁ fuel in 1000 rpm



شکل ۴- مقادیر شتاب ارتعاشی کل (شتاب ارتعاش برآیند) برای سوخت‌های مختلف تحت دورهای متفاوت

Fig.4. Total vibration acceleration values (vibration acceleration resultant) of various fuels under different rpm

جدول ۱- تجزیه واریانس شتاب ارتعاشی موتور تحت تأثیر عوامل آزمایش و برهم‌کنش آن‌ها در محورهای X، Y و Z و برآیند

Table 1- ANOVA results of the engine vibration acceleration affected by the experiment factors and their interactions in the axes of X, Y, Z and resultant

منابع تغییر Source of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean square			
		برآیند Resultant	محور Z Z axis	محور Y Y axis	محور X X axis
نوع سوخت Fuel type	9	1.412**	0.349**	1.009**	0.890**
دور موتور Engine speed	2	57.138**	38.720**	10.281**	8.963**
سوخت × دور Fuel type × Engine speed	28	0.193**	0.199**	0.045**	0.120**
خطا Error	60	0.030	0.023	0.013	0.013
ضریب تغییرات Coefficient of variation		0.343	0.383	0.326	0.351

** : معنی‌دار در سطح یک درصد، * : معنی‌دار در سطح پنج درصد، ns: عدم معنی‌داری

** : Significant at 1% level, * : Significant at 5% level, ns: Not significant

مختلف دور موتور در محورهای X ، Y و Z با آزمون دانکن در سطح یک درصد نشان داده شده است. طبق این نتایج کمترین شتاب در هر سه جهت اندازه‌گیری و همچنین در جهت برآیند آن‌ها در دور موتور ۱۰۰۰ دور بر دقیقه بوده است و بیشترین آن در دور موتور ۲۰۰۰ دور بر دقیقه روی داده است. زیرا با افزایش دور موتور تعداد کورس‌های احتراق و ضربه‌ی پیستون در واحد زمان افزایش می‌یابد. در نتیجه میزان ارتعاش بدنه‌ی موتور افزایش می‌یابد. نتیجه حاصل شده، با نتایج به‌دست آمده از تحقیقات محققان دیگر مطابقت داشت (Hasan-Beigi *et al.*, 2012; Heidari *et al.*, 2012; Hashemifard-Dehkordi *et al.*, 2014; Taghi zadeh-ali (saraei *et al.*, 2012; Salokhe *et al.*, 1995).

ب) نتایج مدل‌سازی به کمک ANFIS

بهترین مدل ANFIS حاصل دارای سه متغیر ورودی بیودیزل، بیواتانول و دور موتور و یک خروجی میانگین ارتعاشات موتور بود. تعداد مجموعه‌های فازی ورودی سه عدد و از نوع گوسی و نوع مجموعه فازی خروجی خطی بود. روش بهینه‌سازی از نوع هیبرید و با ۳۰ اپوک بود. خروجی مدل انفیس در شکل‌های ۵ تا ۷ به‌صورت سه‌بعدی نشان داده شده است. نمودار سه‌بعدی شکل ۵ نشان می‌دهد با افزایش مقدار بیودیزل و بیواتانول، میانگین ارتعاش موتور کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار کاهش ارتعاش در نقطه ۴ درصد بیواتانول و ۲۵ درصد بیودیزل اتفاق می‌افتد. نقطه بحرانی ارتعاش در سوخت با ترکیب ۵ درصد بیودیزل و ۴ درصد بیواتانول ($B_5E_4D_{91}$) اتفاق افتاده که در واقع بیشترین مقدار میانگین ارتعاش در بین سوخت‌های ترکیبی است. این نتیجه با نتایج تحلیل آماری کاملاً همسو و مشابه می‌باشد.

شکل ۶ نشان می‌دهد که با کاهش دور موتور و افزایش مقدار بیودیزل در ترکیب سوخت، میزان میانگین ارتعاش کاهش می‌یابد. البته شیب تند دور موتور - میانگین ارتعاش، نسبت به شیب ملایم بیودیزل - میانگین ارتعاش، نشان می‌دهد که میزان آهنگ اثرگذاری کاهش دور موتور بر کاهش ارتعاش، بیشتر از آهنگ اثرگذاری افزایش درصد بیودیزل بر کاهش ارتعاش بوده است.

نتایج نمودار سه‌بعدی شکل ۷ نشان می‌دهد با افزایش دور موتور و کاهش بیواتانول میزان میانگین ارتعاش افزایش می‌یابد. کمترین مقدار ارتعاش در نقطه ۴ درصد بیواتانول و سرعت موتور ۱۲۰۰ دور بر دقیقه رخ داده است. این نتیجه با نتایج آماری یکسان می‌باشد.

در جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس ارتعاش موتور تحت تأثیر عوامل آزمایش و برهم‌کنش آن‌ها در محورهای X ، Y و Z و برآیند آن‌ها نشان داده شده است. براساس این نتایج اثر عوامل سوخت، دور موتور و اثر متقابل سوخت در دور موتور در هر سه جهت اندازه‌گیری و همچنین در برآیند برداری هر سه جهت، در سطح یک درصد معنی‌دار شد.

در جدول ۲ نتیجه مقایسه میانگین برآیند ارتعاش در ۱۰ سطح سوخت با آزمون دانکن^۱ در سطح یک درصد نشان داده شده است. با توجه به این نتایج، کمترین ارتعاش در سوخت $B_{25}E_4D_{71}$ (۸) به‌دست آمد و این در حالی است که ترکیب سوختی $B_5E_4D_{91}$ (۲) از بین تمام سوخت‌ها بیشترین ارتعاش را داشته است. از طرف دیگر در بین ترکیب‌های مختلف سوختی نیز در یک بررسی اولیه مشاهده شد که در سوخت‌هایی که کمترین ارتعاش را داشته‌اند (۷ و ۸)، سوخت‌های ترکیبی بیشترین درصد بیودیزل (۲۵٪) و در سوخت‌هایی که بیشترین ارتعاش را داشته‌اند (۳، ۴ و ۲)، کمترین درصد بیودیزل (۵٪) را داشته‌اند. بنابراین طبق نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که هرچه درصد بیودیزل در ترکیب افزایش یافته است، ارتعاش موتور کاهش یافته است.

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های شتاب ارتعاشی برآیند در سطوح

مختلف سوخت

Table 2- Average comparison of resultant vibration at the different levels of fuel

شماره سوخت	نوع سوخت	شتاب ارتعاشی
Fule number	Fuel type	Acceleration of vibration (m s ⁻²)
8	$B_{25}E_4D_{71}$	3.1582 ^a
7	$B_{25}E_2D_{73}$	3.1819 ^a
6	$B_{15}E_6D_{79}$	3.3128 ^{ab}
9	$B_{25}E_6D_{69}$	3.3721 ^{ab}
5	$B_{15}E_4D_{81}$	3.3723 ^{ab}
4	$B_{15}E_2D_{83}$	3.4662 ^{bc}
3	$B_5E_6D_{89}$	3.5366 ^{bc}
1	$B_5E_2D_{93}$	3.6701 ^c
10	$B_0E_0D_{100}$	4.2415 ^d
2	$B_5E_4D_{91}$	4.2602 ^d

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری تفاوت بین مقادیر آن ستون است.

Common letters in each column represent no significant difference between the values of each column.

در جدول ۳ نتیجه مقایسه میانگین برآیند ارتعاش در سطوح

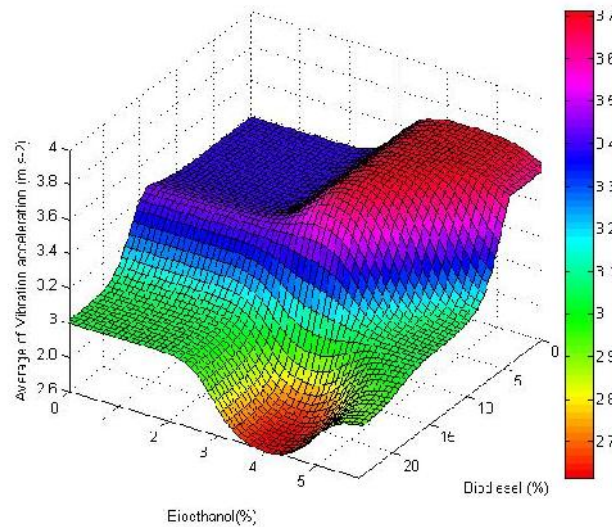
جدول ۳- مقایسه میانگین ارتعاشات در سطوح مختلف دور موتور با آزمون دانکن

Table 3- Average comparison of vibrations at the different levels of engine speed

دور موتور (دور بر دقیقه) Engine speed (rpm)	شتاب ارتعاش				تعداد N
	Acceleration of vibration ($m s^{-2}$)				
	برآیند Resultant	محور Z Z axis	محور Y Y axis	محور X X axis	
1000	2.257 ^a	1.513 ^a	1.243 ^a	1.102 ^a	30
1600	3.409 ^b	2.403 ^b	1.802 ^b	1.575 ^b	30
2000	5.005 ^c	3.768 ^c	2.414 ^c	2.192 ^c	30

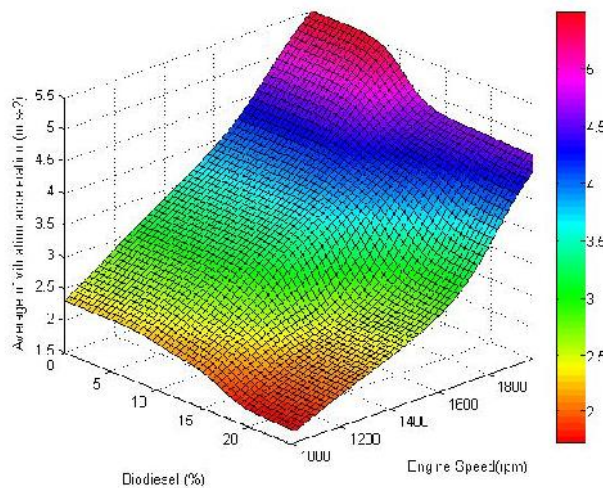
حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم معنی داری تفاوت بین مقادیر آن ستون است.

Common letters in each column represent no significant difference between the values of each column



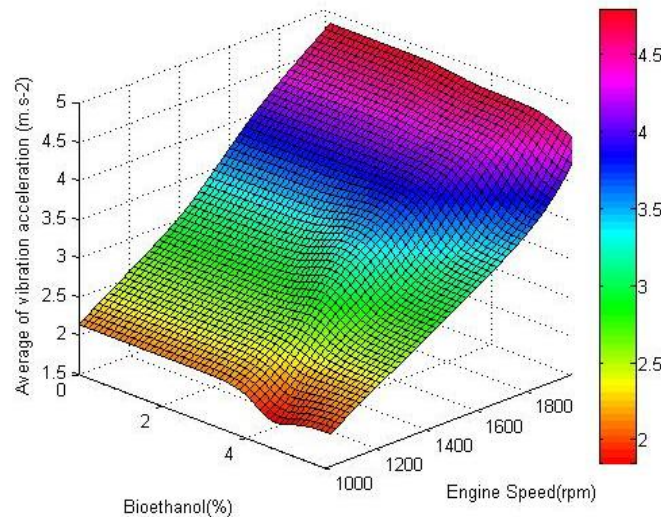
شکل ۵- نمودار سه بعدی ANFIS در بررسی اثر تغییرات بیودیزل و بیواتانول بر میانگین شتاب ارتعاشی کل موتور

Fig. 5. Three-dimensional graph of ANFIS in assessment of biodiesel and bioethanol changes on average of vibration acceleration of the engine



شکل ۶- نمودار سه بعدی ANFIS در بررسی اثر تغییرات بیودیزل و سرعت موتور بر میانگین شتاب ارتعاشی کل موتور

Fig.6. Three-dimensional graph of ANFIS in assessment of biodiesel and engine speed changes on average of vibration acceleration of the engine



شکل ۷- نمودار سه‌بعدی ANFIS در بررسی اثر تغییرات بیواتانول و سرعت موتور بر روی میانگین شتاب ارتعاشات کل موتور
Fig.7. Three-dimensional graph of ANFIS in assessment of bioethanol and engine speed changes on average of vibration acceleration of the engine

آموزش پایین می‌باشد ولی عملکرد مدل نسبت به کل داده‌ها مناسب و قابل قبول است.

نمودار مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده توسط مدل ANFIS در شکل ۸ نشان داده شده است که تقریباً از معادله خطی تبعیت می‌کند. به‌طور کلی مدل حاصل توسط ANFIS مدل مناسبی است و لذا توسط این مدل می‌توان اثر تغییرات پارامترهای ورودی را بر شتاب ارتعاشی کل موتور بررسی کرد و حتی با توجه به عملکرد خوب مدل در مرحله آزمون به کمک این مدل می‌توان برای ورودی‌های مختلفی که در عمل آزمون انجام نشده است، ارتعاش موتور را نیز پیش‌بینی نمود. البته نتایج به‌دست آمده برای پارامترهای ورودی در محدوده تغییرات تعریف شده در تحقیق است و برای ورودی‌هایی که خارج از محدوده مورد تحقیق هستند شاید نتوان با قطعیت از مدل حاصل استفاده کرد و ارزیابی مدل لازم به نظر می‌رسد.

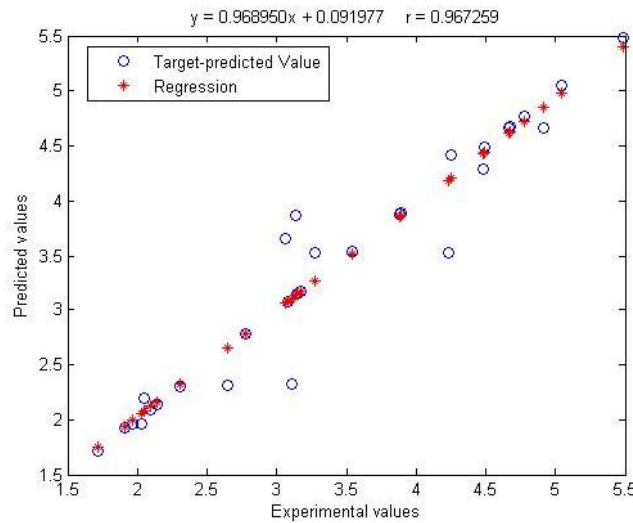
به‌طور کلی به‌نظر می‌رسد، علت افزایش ارتعاش، در اثر افزایش دور، این است که در دور بالا، تعداد حرکات رفت و برگشتی قطعات متحرک موتور و ضربات پیستون در واحد زمان بیشتر می‌شود و نهایتاً تعداد سیکل کاری موتور در واحد زمان افزایش می‌یابد. از طرفی چون هر سیکل کاری موتور توأم با عمل احتراق است، لذا تعداد احتراق افزایش می‌یابد. از طرف دیگر چون عمل احتراق همراه با مصرف سوخت می‌باشد، لذا مقدار مصرف سوخت در واحد زمان افزایش می‌یابد. بنابراین افزایش تعداد سیکل کاری موتور و افزایش مصرف سوخت و ضربات پیستون در واحد زمان باعث افزایش ارتعاش در واحد زمان می‌گردد.

در جدول ۴ عملکرد بهترین مدل به‌دست آمده ANFIS نشان داده شده است. همانطور که در جدول مشخص شده است، با این‌که ضریب همبستگی مدل برای داده‌های آزمون کمی نسبت به داده‌های

جدول ۴- نتایج بهترین مدل ANFIS

Table 4- Results of the best obtained ANFIS model

	میانگین مربعات خطا Mean square error	معنی‌داری P value	ضریب همبستگی Correlation coefficient
نتایج برای داده‌های آزمون Results for testing data	0.189907	0.000768	0.906
نتایج برای کل داده‌ها Results for total data	0.077838	3.26×10^{-18}	0.967
نتایج برای داده‌های آموزش Results for training data	7.46×10^{-4}	4.77×10^{-44}	0.999



شکل ۸- نمودار مربوط به مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده در مدل ANFIS

Fig.8. The plot of actual values and predicted values developed by ANFIS model

ترکیبات مختلف در دوره‌های مختلف بر شتاب ارتعاشی موتور تراکتور براساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی بررسی شد و با روش ANFIS نیز تجزیه و تحلیل شد. نتیجه اینکه با افزایش دور موتور، ارتعاشات به‌طور چشمگیری افزایش یافت. همچنین با افزایش درصد بیودیزل، ارتعاشات کاهش یافت ولی با افزایش درصد بیواتانول ارتعاشات تا حدودی افزایش و سپس کاهش یافت. بهترین سوخت از لحاظ داشتن کمترین ارتعاش موتور سوخت $B_{25}E_{4}D_{71}$ بود که ۲۵ درصد بیودیزل و ۴ درصد بیواتانول و ۷۱ درصد دیزل داشت.

نتیجه‌گیری

با توجه به نیاز به جایگزینی سوخت دیزل و استفاده از روغن‌های پسماند و نیز اهمیت بررسی ارتعاشات موتور، به این منظور در این تحقیق ارتعاشات موتور تراکتور MF285، با جایگزینی قسمتی از سوخت دیزل با بیودیزل تولیدی از روغن کلزا و بیواتانول بررسی شد. به این صورت که ابتدا سوخت بیودیزل لازم توسط راکتور تحقیقاتی کارگاه بیودیزل تولید و سپس با درصد‌های مختلفی با دیزل و بیواتانول ترکیب شده و ده ترکیب سوخت حاصل شد. اثر استفاده از

References

1. Ahmadian, H. 2011. Measurement, analysis and evaluation of vibration of the two-wheel tractor in transportation, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj. (In Farsi).
2. Andrew, L. G., C. H. Dianne, and J. S. Brian. 2007. The effect of piston friction on the torsional natural frequency of a reciprocating engine. *Mechanical Systems and Signal Processing* 21 (7): 2833-2837.
3. Arkhipov, M., E. Krueger, and D. Kurtener. 2008. Evaluation of ecological conditions using bioindicators: application of fuzzy modeling. Paper presented at Lecture Notes in Computer Science.
4. Buragohain, M., and C. Mahanta. 2008. A novel approach for ANFIS modelling based on full factorial design. *Applied Soft Computing* 8: 609-625.
5. Cheng, C. B., C. J. Cheng, and E. S. Lee. 2002. Neuro-fuzzy and genetic algorithm in multiple response optimization. *Computers and Mathematics with Applications* 44: 1503-1514.
6. Ferella., F., G. Mazziotti Di Celso, I. De Michelis, V. Stanisci, and F. Veglio. 2010. Optimization of the transesterification reaction in biodiesel production. *Fule* 89 (1): 36-42.
7. Gruber, G., and H. Zipper Man. 1994. Relation between WBV and morbidity patterns among motor coach operations. DHEW / MIOSH publication no 75-104 washington DC:US.Government printing office.
8. Hasan-Beigi, S. R., E. Johar, B. Ghobadian, M. Abonajmi, and V. Astan. 2012. Measurement and analysis of vibration signals 6-cylinder diesel engine with diesel and bio fuel mixtures in the time domain. In: *Proceedings of 7th International Congress on Mechanization and Machinery in Agriculture*. (In Farsi).

9. Hashemifard-Dehkordi, S. H., M. Almasi, A. M. Borghaee, and B. Beheshti. 2014. The impact of bioethanol and diesel fuel blends on diesel engine vibration. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (2): 243-236. (In Farsi).
10. Heidari, B., S. R. Hasan-Beigi, and B. Ghobadian. 2012. Checking tiller engine vibration in the time domain using a mixture of diesel fuel and bio-diesel. In: *Proceedings of 7th International Congress on Mechanization and Machinery in Agriculture*. (In Farsi).
11. Keskin, A. 2010. The influence of ethanol-gasoline blends on spark ignition engine vibration characteristics and noise emissions. *Energy sources* 32: 1851-1860.
12. Metin, E. H., and H. Murat. 2008. Comparative analysis of an evaporative condenser using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system. *International Journal of Refrigeration* 31: 1426-1436.
13. Milby, T. H., and R. C. Spear. 1994. Relation between EBV and morbidity patterns among heavy equipment operator. DHEVV / NIOSH publication NO: 77-167 Washington DC:US. Government printing office.
14. Min-Soo, P., F. Takabumi, K. Tae-gu, and M. Setsuo. 2013. Health Risk Evaluation of Whole-body Vibration by ISO 2631-5 and ISO 2631-1 for operators of agricultural tractors and recreational vehicles. *Industrial Health* 51: 364-370.
15. Naderloo, L., R. Alimardani, M. Omid, F. Sarmadian, P. Javadikia, M. Y. Torabi, and F. Alimardani. 2012. Application of ANFIS to predict crop yield based on different energy inputs. *Measurement* 45: 1406-1413.
16. Rao, S. S. 1995. *Mechanical vibration*. Addison-Wesley, UK
17. Salokhe, V. M., B. Majumder and M. S. Islam. 1995. Vibration characteristics of power tiller. *Journal of Terramechanics* 32: 181-196.
18. Saadatifard, A., M. Mosleh, S. Setayeshi, and M. Kamari. 2012. Sensitivity of accuracy of artificial neural networks to the quantity of incoming data and compare it with the predictions of ANFIS in making artificial petrophysical graphs. *Exploration and Production* 96: 83-90. (In Farsi).
19. Sam, B., and K. Kathirvel. 2006. vibration characteristics of walking and riding type power tillers. *Biosystems Engineering* 95 (4): 517-528.
20. Selim, M. Y. E. 2001. pressure-time characteristics in diesel engine fueled with natural gas. *Renewable energy* 22 (4): 473-489.
21. Serge, G. 2001. Designing fuzzy inference systems from data: Interpretability oriented review. *IEEE Transaction on Fuzzy Systems* 9: 426-442.
22. Shabani, Z., S. Rafiee, B. Ghobadian, and H. Ahmadi. 2012. Optimize engine performance Tractors with a mixture of biofuels, diesel, and ethanol by response surface methodology. *Journal of Engine Research* 99. (In Farsi).
23. Taghizadewqh-Alisaraei, A., B. Ghobadian, T. Tavakoli-hashjin, and S. S. mohtasebie. 2012. Vibration analysis of a diesel engine using biodiesel and pet diesel fuel blends. *Fuel* 102: 414-422.
24. Tewari, V. K., K. N. Dewangan, and S. Karmakar. 2004. operators fatigue in field operation of hand tractors. *Biosystems Engineering* 89 (1): 1-11.

Investigating the engine vibration in MF285 tractor effected by different blends of biodiesel fuel using statistical methods and ANFIS

A. Safrangian¹ - L. Naderloo^{2*} - H. Javadikia² - M. Mostafaei² - S. S. Mohtasebi³

Received: 22-12-2015

Accepted: 23-02-2016

Introduction

Vibrations include a wide range of engineering sciences and discuss from different aspects. One of the aspects is related to various types of engines vibrations, which are often used as power sources in agriculture. The created vibrations can cause lack of comfort and reduce effective work and have bad influence on the health and safety. One of the important parameters of the diesel engine that has the ability to create vibration and knocking is the type of fuel. In this study, the effects of different blends of biodiesel, bioethanol and diesel on the engine vibration were investigated. As a result, a blend of fuels such as synthetic fuel that creates less vibration engine can be identified and introduced.

Materials and Methods

In this study, canola oil and methanol alcohol with purity of 99.99% and the molar ratio of 6:1 and sodium hydroxide catalyst with 1% by weight of oil were used for biodiesel production. Reactor configurations include: maintaining the temperature at 50 °C, the reaction time of 5 minutes and the intensity of mixing (8000 rpm), and pump flow, 0.83 liters per minute. A Massey Ferguson (MF) 285 tractor with single differential (2WD), built in 2012 at Tractor factory of Iran was used for the experiment. To measure the engine vibration signals, an oscillator with model of VM120 British MONITRAN was used. Vibration signals were measured at three levels of engine speed (2000, 1600, 1000 rpm) in three directions (X, Y, Z). The analysis performed by two methods in this study: statistical data analysis and data analysis using Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS).

Statistical analysis of data: a factorial experiment of 10×3 based on completely randomized design with three replications was used in each direction of X, Y and Z that conducted separately. Data were compiled and analyzed by SPSS 19 software. Ten levels of fuel were including of biodiesel (5, 15 and 25%) and bioethanol (2, 4 and 6%), and diesel fuel.

Data analysis by ANFIS: ANFIS is the combination of fuzzy systems and artificial neural network so that it has both benefits. This system is useful to solve the complex non-linear problems in agricultural engineering applications such as systems involved in the soil, plant and air. ANFIS by linguistic concepts can establish and inference non-linear relationship between inputs and outputs. In this research, modeling was generally performed by Toolbox of ANFIS and coding in MATLAB too. Five important and effective factors in modeling were optimized until the best ANFIS model is obtained. The five factors were: type of input fuzzy sets, the number of input fuzzy sets, fuzzy set of output, methods of optimization and the number of epochs.

Results and Discussion

Based on the total vibration acceleration values for different fuels in different rpm, pure diesel (B₅E₄D₉₁) had the highest vibration and the lowest vibration was seen in the mixed fuel of B₂₅E₄D₇₁. Based on the results, two combined fuel of (B₂₅E₂D₇₃, B₂₅E₄D₇₁) have the lowest vibration and highest amount of biodiesel fuel (25%). After them, three combined fuels of (B₅E₂D₈₃, B₅E₄D₈₁, and B₅E₆D₇₉) have created more vibration and the lowest amount of biodiesel fuel in this study (5%) has created the greatest amount of vibration. With increasing engine speed, the number of combustion courses and piston shock per unit of time increases. As a result, the engine body vibration increases. The results are consistent with results from other researchers.

1 and 2- Former M.Sc. Student and Assistant Professor respectively, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Razi University, Kermanshah, Iran

3- Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, University of Tehran, Karaj, Iran

(*- Corresponding Author Email: l.naderloo@razi.ac.ir)

Conclusions

In this study, motor vibration of MF285 tractors, by replacing a portion of diesel fuel with biodiesel produced from canola oil and bioethanol, was investigated. In the beginning, necessary biodiesel fuel was produced by research reactor in biodiesel workshop, and then different percentages of diesel and bio-ethanol were mixed to biodiesel and ten combined fuels were created. Finally the effect of different fuel combinations and different engine rotational speeds on the tractor engine vibrations was studied based on a factorial randomized complete block design and then analyzed and modeled by ANFIS. The results showed that the vibration of pure diesel fuel had the highest vibration. Also, with increasing biodiesel fuel blends, the amount of vibration reduced significantly. Increase in engine speed had direct effect on increasing the amount of vibration. Also by increasing the percent of bioethanol from 0 to 4%, the amount of vibration was reduced then vibration value increased by raising the percent of bioethanol. After modeling and analyzing, our results showed that the best fuel in terms of having the lowest vibration motor was B₂₅E₄D₇₁.

Keywords: Bio-ethanol, Bio-fuel, Diesel, Oscillato, Vibration